

Forum on Urbanism. "6th Conference of the International Forum on Urbanism (IFoU): TOURBANISM. - 2012. - P.1-9.

10. Cvelic-Bonifacic J., Milohnic I., Cerovic Z. Glamping - Creative accommodation in camping resorts: insights and opportunities // Conference: Tourism in Southern and Eastern Europe 2017: Tourism and Creative Industries: Trends and Challenges. - 2017. - P.101-114.

Хэ Лин (Китай), Ян Анькан (Китай), Чжоу Вэньсуань (Китай),
Козлов Виктор Николаевич

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Козлов Виктор Николаевич,
к.т.н., доцент

РАСЧЁТ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛЕЙ

Режущие инструменты чаще всего оснащаются сменными многогранными пластинами (СМП) (рис. 1) для их быстрой замены после износа. Использование большого количества режущих кромок увеличивает объём металла, удаляемого одной режущей пластиной и уменьшает себестоимость обработки.



Рисунок 1. Формы СМП (а) и негативно-позитивная СМП (б)

Для определения ресурса работы СМП необходимо проводить испытание стойкости. По стойкостным экспериментам определяется предельно допустимый износ, при котором ещё сохраняется требуемое качество обработки: шероховатость обработанной поверхности, выдерживание требуемой точности размера, отклонения от круглости, цилиндричности и пр. [1].

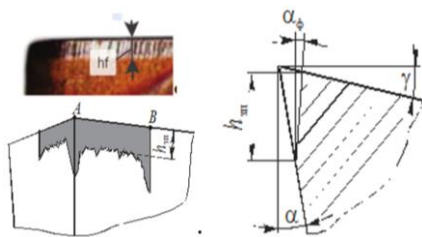


Рисунок 2. Износ по задней поверхности

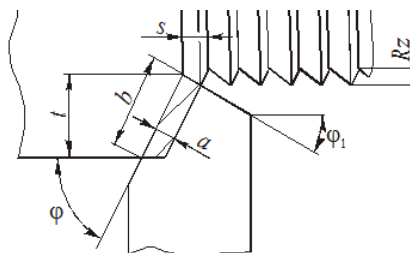


Рисунок 3. Основные параметры при токарной обработке

Как правило, в качестве объективно измеряемого критерия (показателя) предельно допустимого износа выступает длина фаски износа по задней поверхности h_z пр (рис. 2) [1, 2, 3, 4]. Увеличение $h_z > 0,7$ мм может привести к сколу и потере СМП, т.к. образующиеся при этом микротрещины резко уменьшают стойкость на других ещё неиспользованных вершинах и увеличивают вероятность хрупкого разрушения.

При черновой обработке прочность СМП более важна по сравнению с получистовой обработкой из-за большой подачи s (мм/об) и глубины резания t (мм) (рис. 3).

СМП используются также во фрезах и свёрлах с механическим креплением режущих пластин. При фрезеровании толщина среза a непрерывно изменяется при постоянной подаче на зуб s_z (мм/зуб), поэтому при проведении расчётов на прочность необходимо использовать влияние не подачи s , а толщины среза a для возможности использовать результаты расчётов НДС не только при токарной обработке, но и при фрезеровании. К тому же при токарной обработке изменении угла φ приводит к необходимости пересчитывать толщину среза, от которой зависит не только сила резания, но и длина контакта стружки с передней поверхностью s . При токарной обработке $a = s \cdot \sin \varphi$, где φ – главный угол в плане (рис. 3).

Задача расчёта на прочность режущих пластин может быть решена за несколько этапов:

1. Определение рациональной или широко используемой геометрии СМП и рекомендованных рациональных режимов резания. При этом упор должен делаться на черновую обработку для квадратных пластин и получистовую для треугольных.

2. Определение технологических составляющих силы резания R_z , R_y и R_x силы резания (рис. 4) при этой геометрии и режимах резания. При этом необходимо рассматривать силы как при обработке неизношенным, или «острым», инструментом, так и при обработке с предельно допустимым износом по установленным правилам: при черновой обра-

ботке длина фаски износа по задней поверхности h_z не более 0,75 мм, а при полустойковой $h_z \leq 0,25$ мм [2]. Рассмотрение НДС острого инструмента необходимо для сравнения с НДС изношенного. Конечно, желательно получить силы при работе с таким большим износом, при наступлении которого почти всегда происходит выкрашивание режущей кромки или скол. В этом случае анализ НДС СМП позволит выявить опасные зоны и проверить работу используемого программного обеспечения – если при прилагаемых нагрузках у инструмента не появляется зон с запредельными напряжениями, значит использовать такую программу нельзя или требуется тщательная проверка вводимых данных.



Рисунок 4. Технологические составляющие силы резания

3. Выделение сил на передней поверхности инструмента и на фаске износа.

4. Определение длины контакта стружки с передней поверхностью СМП с при работе острым и изношенным инструментом. Как правило, изменения длины контакта не происходит или это изменение незначительно [2].

5. Расчёт физических составляющих силы резания на передней поверхности (нормальной N и касательной F сил) [2] и на фаске износа (нормальной N_h и касательной F_h сил) [3].

6. Создание 3D моделей СМП: острых, предельно изношенных и запредельно изношенных (рис. 5). При этом желательно иметь модель с износом равным половине предельного износа для последующего построения графиков изменения НДС в процессе износа. Задний угол на фаске износа по задней поверхности α_h обычно 0° (см. рис. 2) [1, 2, 3].

4. Задание физико-механических свойств инструментального материала и температуры на рабочих поверхностях. Последнее позволит более точно рассчитать температурное поле в теле СМП и уточнить свойства инструментального материала, поскольку они существенно могут

измениться при высоких температурах 800-1200 °С при резании [1, 2, 3] по сравнению с обычно представленными в ходе испытания при комнатной температуре.

6. Задание внешней нагрузки на модели СМП в виде эпюр контактных напряжений на передней поверхности и на фаске износа.

7. Расчёт НДС и анализ результатов (рис. 5).

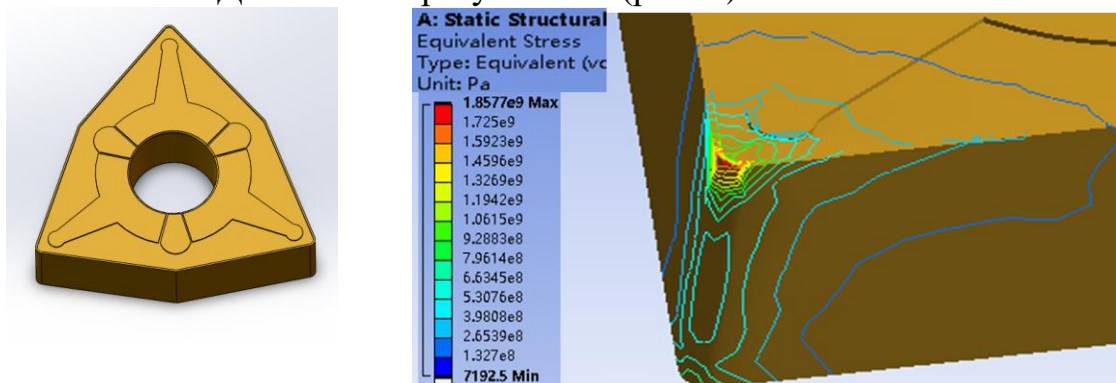


Рисунок 5. 3D модель треугольной СМП и распределение в ней эквивалентных напряжений 109 (Pa). 40X – T15K6, $v = 180$ м/мин; $s = 0,13$ мм/об; $t = 1$ мм; $h_z = 0$ мм; $\sigma_{e \max} = 1\,857$ МПа; $\sigma_{e \text{ осн}} \approx 1\,000$ МПа; $\sigma_{e \min} \approx 133$ МПа;

8. Изменение геометрии СМП на более рациональную и повторение всех предыдущих пунктов.

9. После определения наиболее рациональной геометрии СМП (имеющей наименьшие напряжения в режущем клине) назначение более производительных режимов резания, прежде всего подачи s и, как возможный вариант, глубины резания t . Увеличение скорости резания v приводит к уменьшению стойкости, но, с другой стороны, к уменьшению сил резания.

10. Заточка СМП с рациональной геометрией (поскольку прессовать СМП с рекомендуемой геометрией невозможно в условиях единичного производства) и проверка сначала на предельных, а затем на запредельных, режимах резания.

Таким образом, задача определения наиболее рациональных геометрических параметров СМП очень сложная, длительная и дорогая, поэтому было решено ограничиться анализом НДС СМП при разной величине износа по задней поверхности.

При расчёте НДС необходимо проверить правильность полученных результатов. Для этой цели выполняется 3D режущего клина в виде отрезного резца, которым обрабатывается диск, ширина которого на 0,1 мм меньше ширины резца, с радиальной подачей, т.е. осуществляет-

ся прямоугольное свободное резание. Достоинство этой простой схемы в том, что НДС такого резца (режущего клина) является плоским, т.е. в любом сечении, перпендикулярном главной режущей кромки, одинаковое распределение контактных напряжений и напряжений в этом клине.

Таким образом, выполняется сравнение с НДС сложной по форме СМП, т.е. для неё и более сложное нагружение, и более сложное (объёмное) распределение напряжений.

При оценке НДС сначала по картине распределения нормальных напряжений σ_x , σ_y , σ_z (МПа) по знаку (+ или -) определяются области сжимающих и растягивающих напряжений, а по картине распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ (σ_e) оценивается прочность режущего инструмента. Наибольшая величина эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв max}}$ (МПа) сравнивается с предельно допустимой по этому виду нагружения.

При обработке диска из титанового сплава ВТ3-1 с подачей $s_{\text{рад}} = 0,43$ мм/об эквивалентные напряжения существенно больше (рис. 6 а). Часто трудно увидеть линии равных напряжений и величину их напряжений, поэтому приходится «вручную» выделять эти линии и ставить величину напряжений на выносных линиях (рис. 6). Отрицательный знак нормальных напряжений говорит о напряжениях сжатия (рис. 6 б).

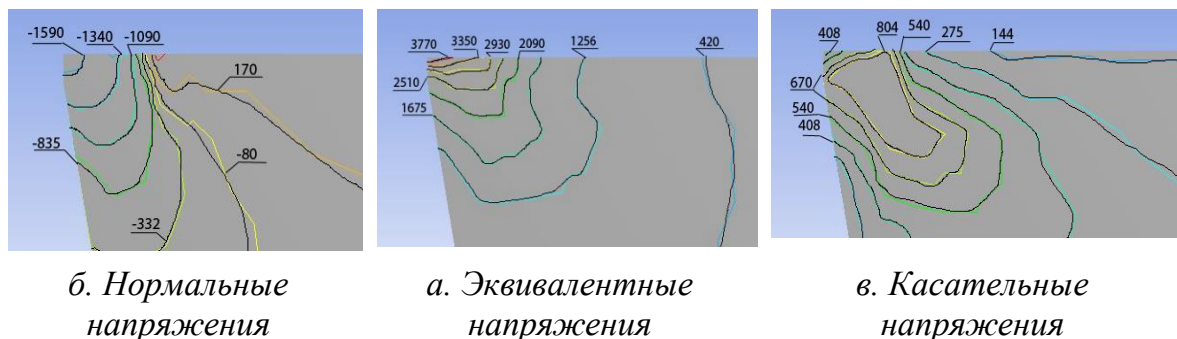
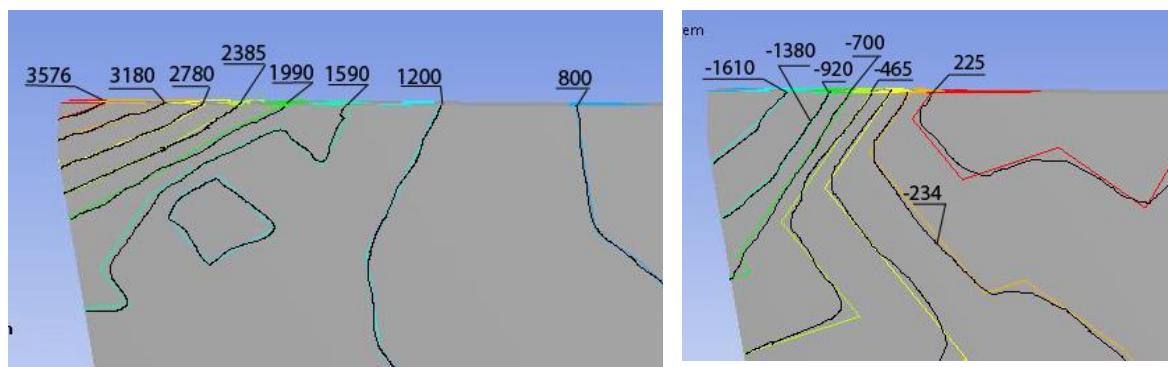


Рисунок 6. Напряжения в режущем клине во втором резце при обработке диска из титанового сплава с радиальной подачей (схема прямоугольного свободного резания). ВТ3-1 - ВК8, $v = 60$ м/мин, радиальная подача $s = 0,43$ мм/об.

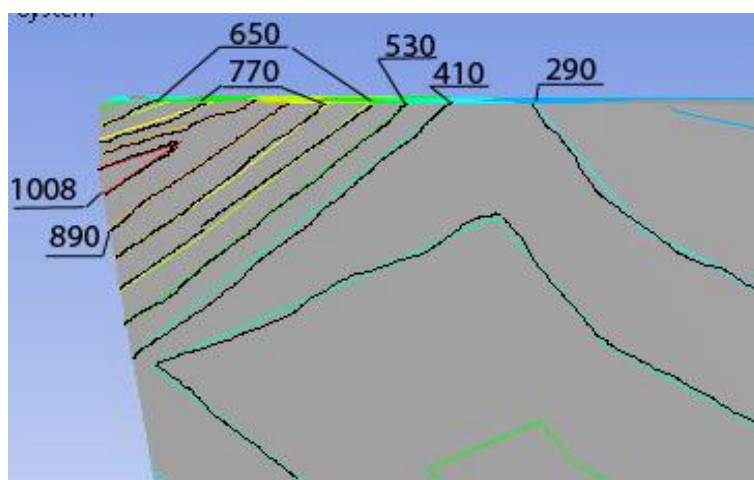
Геометрия второго резца: ширина – 4 мм, толщина – 4 мм

При уменьшении толщины режущей пластины эквивалентные напряжения увеличиваются (рис. 7 а).



а. Эквивалентные напряжения

б. Нормальные напряжения



в. Касательные напряжения

Рисунок 7. Напряжения в режущем клине при обработке диска из титанового сплава с радиальной подачей (схема прямоугольного свободного резания). ВТЗ-1-ВК8, $v = 60$ м/мин, радиальная подача $s = 0,43$ мм/об. Геометрия первого резца: ширина - 4 мм, толщина – 2 мм. ВТЗ-1 – ВК8. $v=60$ м/мин, радиальная подача $s = 0,43$ мм/об

При расчёте НДС наиболее важным внешним параметром являются величины составляющих силы резания. Эти составляющие можно рассчитать по известной эмпирической формуле $P_z = C_{P_z} \cdot t^{x_{P_z}} \cdot s^{y_{P_z}} \cdot v^{n_{P_z}} \cdot K_P$, где коэффициенты и показатели степеней определяются в справочнике, например [4]. Наши исследования и их представление на графиках в двойных логарифмических координатах показали, что требуется некоторое уточнение коэффициентов и показателей степеней, результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Погрешность расчёта силы P_z

№	t, мм	s, мм/ об	Расчёт по эксп. показателям			Расчёт по показателям справочника [4]			Эксп. величина P_z по графику /действ
			Коэф.	P_z , Н	ΔP_z , %	Коэф	P_z , Н	ΔP_z , %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	0,52	CPz =2	1955	-2%	CPz =3	2175	+8%	1800 /2000)
2	2	0,07	81	297	-1%	00	483	+61%	300 /300)
3	4	0,13	xPz=1,	1155	-11,1%	xPz=1	1538	+18%	1150 /1300)
4	0,5	0,13	12	112	-25%	yPz=0,	192	+28%	150 /150)
5	4	0,52	yPz=0, 94 nPz=- 0,15 Kp=1,2 5	4250		75 nPz=- 0,15 Kp=1,2 5	4350		
Примечание: 1) Полученные нами величины показателей степеней и коэффициент дают более правильный результат; 2) Наибольшая погрешность проявляется при малой подаче и глубины резания; 3) При большой подаче и глубине резания относительная погрешность расчётов P_z по данным справочника составляет +2% по сравнению с расчётами по данным, определёнными в наших исследованиях, и примерно равна экспериментальным данным.									

Аналогичные исследования были выполнены для сил P_y и P_x .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожевников Д. В., Гречишников В. Л., Кирсанов С. В., Кокарев В. И., Схиртладзе А. Г. Режущий инструмент: Учебник для вузов / Под редакцией С. В. Кирсанова. - 2-е изд. доп. М.: Машиностроение, 2005. - 528 с: ил.
2. Чэнь Юэчжоу. Расчёт эпюр контактных напряжений при обработке стали / Чэнь Юэчжоу, Чжан Цзяюй, В. Н. Козлов; науч. рук. В. Н. Козлов // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов сборник докладов X Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 22-24 апреля 2020 г.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) . — Томск : Изд-во ТПУ , 2020 . — [С. 243-250] .
3. Kozlov V. N., Zhang J., Zhang J., Guo Y., Sabavath S. K. Research of Contact Stresses Distribution on Plunge-Cutting into a Steel Workpiece [Electronic resource] / V. N. Kozlov [et al.] // Key Engineering

- Materials : Scientific Journal. — 2018. — Vol. 769 : High Technology: Research and Applications (HTRA 2017). — [284-289].
4. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2/Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение-1, 2001 г., 912 с., ил.

Ци Мэнсюй (Китай), Чжао Цзялунь (Китай), Ю Цзяньюй (Китай),
Козлов Виктор Николаевич

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Козлов Виктор Николаевич,
к.т.н., доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН

В настоящее время большинство режущих инструментов оснащаются сменными многогранными пластинами (СМП) из-за их быстрой замены после предельно допустимого износа. Использование от двух до шести режущих кромок позволяет увеличить срок службы режущей пластины, а значит и уменьшить себестоимость обработки.

Практически все СМП покрываются износостойкими покрытиями, применение которых хоть и увеличивает стоимость пластин, но благодаря увеличению стойкости от трёх до восьми раз также способствует снижению себестоимости обработки.

Надёжность работы СМП определяется её гарантированной стойкостью при рациональных режимах резания. Стойкость зависит и от интенсивности износа, и от хрупкого разрушения. Для оценки вероятности выкрашивания режущей кромки (удаления небольших объёмов режущего материала на режущей кромке) или скола (удаления больших объёмов режущего материала), определения рациональной геометрии и режима резания необходим расчёт напряжённо-деформированного состояния (НДС) СМП или её режущего клина.